DOI: 10.22067/jfcei.2022.73898.1088
سال سی و چهار، شمارهٔ چهار، ۱٤۰۰

ارائه مدل جریان عبوری عابران‌پیاده در تسهیلات پیاده شهری با استفاده از الگوریتم‌های فراابتکاری (مطالعه موردی: شهر رشت)*

مقاله پژوهشی

سیدابراهیم عبدالمنافی(۱) ترمه ودادی گرگری(۲) سید امیر سعادتجو(۳) سعید فاطمی(٤) سید علی ضیائی(٥)

چکیده *رفتار عابران‌پیاده نقش مهمی در طراحی تسهیلات پیاده به خصوص در مناطق پرتردد ایفا می‌کنند. یکی از این خصوصیات رفتاری، سرعت راه رفتن آنان از پیاده‌روها و پیاده‌راه‌ها شده می‌باشد؛ بنابراین مهم‌ترین اقدام قبل از هر چیز شناخت پارامترهای جریان عابران‌پیاده در هنگام عبور از تسهیلات مختلف شهری است. هدف از این پژوهش مدل‌سازی جریان عابران‌پیاده عبور از تسهیلات پیاده مختلف شهری (پیاده‌رو و پیاده‌راه) می‌باشد. از این‌رو با تصویربرداری از یک پیاده‌رو و یک پیاده‌راه، به جمع‌آوری اطلاعات ۱۰۲۱۰ عابرپیاده عبوری پرداخته شد. سپس با استفاده از مدل‌های رگرسیون و روش الگوریتم ژنتیک، روابط جریان عابران‌پیاده از قبیل سرعت، نرخ جریان و چگالی مدل‌سازی شد. نتایج نشان داد که دقت مدل‌ها برای تسهیلات مختلف شامل پیاده‌رو، پیاده‌راه با استفاده از الگوریتم ژنتیک دارای دقت پیش‌بینی بالاتری نسبت به روش رگرسیونی و به ترتیب برابر با ۰/۹٤٥۱ و۰/۹۰٦۲ می‌باشند؛ بنابراین می‌توان در این زمینه الگوریتم ژنتیک را به عنوان یکی از روش‌های فراابتکاری که دارای دقت بیشتری می‌باشد، به عنوان مدل برتر معرفی کرد.*

واژه‌های کلیدی عابرپیاده، سرعت، نرخ جریان، چگالی، رگرسیون، روش الگوریتم ژنتیک

مقدمه

امروزه اغلب این احساس به وجود می‌آید که عابرپیاده در اجرای عملیات ساخت و سازی که ناشی از یک برنامه‌ریزی بر مبنای حرکت سواره است، نقش چندم و بی‌اهمیتی را ایفا می‌کند. وجود این شرایط در تخصیص سطوح کاربری‌های عمومی، واقعیت‌ها را غیر از آنچه که است، نشان می‌دهد[3]. همانند گذشته، امروزه نیز عابران‌پیاده بیشترین سهم را در تردد دارند و به همین دلیل، مهم‌ترین عامل در تردد می‌باشند، اما حوزه قانونی سیستم رفت‌وآمد امروزی، از مرحله پیش‌بینی تا مرحله نتیجه‌گیری، به کلی به سود خودروسواران و در نتیجه به نفع تردد اتومبیل‌ها است. در این روند، توقع و انتظار بیشتری برای ایجاد شرایط بهتر برای خودروها به وجود آمده و ساخت‌وسازهای بعدی نیز این توقعات را جامع عمل پوشانده است. از این‌رو، افزایش سهم پیاده‌روی در حمل‌ونقل شهری، نیازمند حصول شناختی صحیح از انسان و بالطبع آن، برآورده کردن نیازها در جهت نیل به افزایش این سهم است. مدل‌سازی تردد عابران‌پیاده می‌تواند پیش‌زمینه طراحی تسهیلات بهینه، به منظور پیاده‌مدار کردن یک شهر باشد. رفتار عابران‌پیاده تحت تأثیر متغیرهای مستقلی ازجمله سرعت عبور از عرض آن‌ها، چگالی و نرخ جریان عبور قرار دارد که این متغیرها تحت تأثیر سن، جنسیت، وزن، فردی یا گروهی رفتن عابران و حتی نوع پوشش می‌توانند منجر به رفتارهای متفاوت آنان را نتیجه دهد [4]. ازاین‌رو یکی از مهم‌ترین مواردی که در مبحث تسهیلات پیاده و مدل‌سازی عابران‌پیاده مورد بررسی قرار می‌گیرد، شناخت رفتارهای آن‌ها در حالت‌های مختلف است و نحوه هدایت مسیر عابران‌پیاده به سمت مسیرهای مناسب همراه با بروز کمترین برخوردها میان عابران‌پیاده است؛ بنابراین پیش از طراحی تسهیلات عابرین‌پیاده می‌بایست پارامترهای ترافیکی عابران‌پیاده از جمله سرعت، چگالی، نرخ جریان، نحوه حرکت،

* تاریخ دریافت مقاله ۱٤۰۰/۹/۷ و تاریخ پذیرش آن ۱٤۰۰/۱۱/۱٦می‌باشد.

(۱) نویسندهٔ مسئول، استادیار دانشکده عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات.
Email: abdolmanafi@srbiau.ac.ir
(۲) کارشناسی‌ارشد عمران گرایش حمل‌ونقل، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال.
(۳) دانشجوی دکتری عمران گرایش راه‌وترابری، دانشگاه علم و صنعت ایران.
(٤) دانشجوی دکتری عمران گرایش راه‌وترابری، دانشگاه فردوسی مشهد.
(٥) استادیار، گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد.

ظرفیت محدوده مورد نظر و همچنین پارامترهای رفتاری عابران ازجمله نوع پوشش، سن، وزن و میزان تاثیر جنسیت بر رفتار حرکتی و مواردی از این دست مورد بررسی قرار گیرد. بنابراین در این مطالعه همگام با بررسی رفتار عابران‌پیاده و محاسبه‌ی پارامترهای ترافیکی مرتبط با آن از جمله سرعت، چگالی و نرخ جریان به مدل‌سازی تردد عابران‌پیاده در تقاطعات و تسهیلات پیاده پرداخته خواهد شد که بتوان با استفاده از این مدل رفتار عابران‌پیاده را به صورت دقیق‌تر نسبت به دیگر مدل‌ها در نمونه‌های آماری مختلف پیش‌بینی کرد.

مرور بر مطالعات پیشین

حجم شمار مطالعات انجام گرفته در زمینه عابرپیاده در مقایسه با سایر مباحث حمل‌ونقلی بسیار اندک است و از میان این مطالعات، بیشتر به موضوعاتی با محوریت وضعیت معابرپیاده و طراحی سیستم‌های پیاده‌روی و همینطور ایمنی عابران‌پیاده پرداخته شده است و جریان خود عابرپیاده و مفاهیمی از قبیل سرعت، چگالی و حجم در تسهیلات پیاده کمتر مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود در کشورهای مختلف تحقیقات ارزنده‌ای انجام گرفته است تا به شناخت هرچه بیشتر جریان عابران‌پیاده و ایجاد امکانات برای این دسته از کاربران راه بینجامد.

هلبینگ و همکاران [5]در مطالعه‌ای بر روی حرکت زائران در شهر مکه در سال ۲۰۰۷، نمودار چگالی عابران‌پیاده را مبتنی بر شبیه‌سازی ارائه کردند. این نمودار مبتنی بر مدل‌سازی حرکت عابران‌پیاده بر اساس مدل نیروی اجتماعی است و از آن برای مقایسه مقادیر چگالی در حالت شبیه‌سازی استفاده نمودند. لیو و همکاران [6] در سال ۲۰۰۸ در پژوهشی پیرامون مدل‌سازی جریان عابران‌پیاده در راه‌پله‌های ایستگاه قطار زیرزمینی شانگهای با جمع‌آوری مشخصات جریان عابران‌پیاده در راه‌پله‌های چند مرکز توزیع عابران‌پیاده در چین از قبیل ایستگاه قطار زیرزمینی شانگهای و ایستگاه قطار شانگهای، با استفاده از تحلیل کیفی، روابط چگالی-سرعت و چگالی-جریان را به صورت توابعی بدست آوردند. همچنین جریان عابران‌پیاده در راه‌پله‌ها را با جریان وسایل نقلیه مقایسه نمودند. هونگ فی و همکاران[7] در سال ۲۰۰۹، با برداشت اطلاعات جریان عابران از روی تصاویر ضبط شده در پایانه مسافربری ژیژمن در چین و تحلیل آماری این اطلاعات، روابط جریان-چگالی و سرعت-چگالی را بدست آوردند. چن، یی و جیان[8] در سال ۲۰۱۰ در مطالعه روابط و ویژگی‌های جریان ترافیک عابرپیاده در معابر محصور به جریان طولی عابران‌پیاده در معابر سرپوشیده پرداختند. پارامترهای جریان پیاده‌روی شامل سرعت، چگالی و نرخ جریان را در شرایط تراکم کم و تراکم زیاد با استفاده از ضبط ویدئویی بدست آوردند و سپس با تجزیه‌وتحلیل اطلاعات به یافتن رابطه بین داده‌ها پرداختند و با استفاده از رگرسیون آماری و سازگاری با واقعیت، مدل جریان ترافیک عابرپیاده در مورد سرعت- چگالی و حجم- چگالی برای استفاده از تمام امکانات مشاهده‌شده تعیین شده است. پلا و همکاران[9] در سال ۲۰۱۱ در مطالعه‌ای پیرامون تعیین مسیر و تجزیه‌وتحلیل چگالی از جریان تداخلی عابران‌پیاده از تصاویر ضبط شده چگالی عابران‌پیاده را مورد بررسی قرار دادند. تانگ و همکارانش[10] در مطالعه بر روی سرعت و چگالی عابران‌پیاده در شرایط چگالی کم و متوسط در محوطه ایستگاه چیبای ژاپن و شانگهای چین سرعت و چگالی عابران‌پیاده را در ژاپن و چین به منظور روشن کردن ویژگی‌های مختلف رفتار عابرپیاده، در زمینه‌های فرهنگی متفاوت مقایسه نمودند و دریافتند که در اوقات فراغت سرعت آهسته و چگالی کم است، در زمان عجله سرعت زیاد و چگالی بالا است، سرعت در معابر پلکانی کندتر از معابر تخت است و در پایان نتیجه بر این شد که در چین مردم برای سریع‌تر به مقصد رسیدن از راه‌های میانبر استفاده می‌کنند اما در ژاپن با سرعت بیشتری حرکت می‌کنند. راستوگی و همکاران[11] در مطالعه مشخصات جریان عابرپیاده برای تسهیلات و موقعیت‌های متفاوت عابران‌پیاده با جمع‌آوری اطلاعات راه‌رفتن عابران‌پیاده، در ۱۹ مکان در ۵ شهر هند و طبقه‌بندی تسهیلات عابران‌پیاده بر اساس عرض دریافتند که رابطه بین سرعت و چگالی در پیاده‌روهایی با عرض‌های متفاوت، یک رابطه نمایی می‌باشد. همچنین اظهار داشتند که کم‌عرض‌تر شدن پیاده‌روها سبب کاهش سرعت جریان آزاد می‌شود. شفابخش و همکاران[12] در سال ۲۰۱۳ طی مطالعه‌ای با تجزیه‌وتحلیل سرعت عابران‌پیاده در پیاده‌روهای ایران (با توجه به سالمندان) به منظور برآورد اثر جمعیت سالمندان در جریان

حرکت عابران‌پیاده در پیاده‌رو با استفاده از روش شبیه‌سازی میکرو اقدام به شبیه‌سازی عابران‌پیاده نمودند. چاندرا و کومار[13] با جمع‌آوری سرعت عبور از عرض و راه‌رفتن عابران‌پیاده از ۷ پیاده‌رو و تقاطع در هند اشاره کردند که سرعت عابران‌پیاده با توجه به سن، جنسیت و مکان تسهیلات عابران‌پیاده متفاوت می‌باشد و اختلاف معناداری بین سرعت راه‌رفتن و عبور از عرض عابران‌پیاده وجود دارد. همچنین آن‌ها بیان کردند که سرعت عابران‌پیاده در پیاده‌روهای عریض به‌طور قابل‌توجهی با دیگر تسهیلات عابرپیاده تفاوت دارد. داس و همکاران[14] با استفاده از آنالیز میکروسکوپی به تعیین بازده ماکروسکوپی برای توسعه مدل‌های جریان عابرپیاده پرداختند. مدل‌های توسعه یافته و مقادیر برآورد شده پارامترهای جریان مانند سرعت و ظرفیت آزاد جریان با داده‌های واقعی مقایسه شده و خطای تخمین زده شده کمتر از ۱۰٪ بود. گل آکیا و همکاران[15] به بررسی تبدیل شریان‌های شهری ٦ خطه به ٤ خطه تحت تأثیر مانورهای جریان عابران‌پیاده پرداختند. در نهایت با استفاده از مدل‌های رگرسیونی به ارائه رابطه ریاضی بین جریان عابران‌پیاده و ظرفیت وسایل نقلیه عبوری پرداختند. رابطه بین عبور متقابل عابرپیاده و افت ظرفیت جریان عبوری می‌باشد و همچنین هنگامی که عبور متقاطع عابران‌پیاده محدود به ۲۰۰ عابرپیاده در ساعت باشد، هیچ تأثیری بر ظرفیت جریان عبوری وسایل‌نقلیه ایجاد نخواهد داشت. با این حال، با افزایش سطح عبور و مرور عابران‌پیاده به ۱۵۵۰ عابر در ساعت؛ ظرفیت ۳۲ درصد کاهش می‌یابد. ژو و همکاران[16] چندین شبیه‌سازی با استفاده از ترکیبات مختلف سرعت عابرپیاده با استفاده از مدل‌های ریاضی را مورد بررسی قرار دادند. همچنین روابط بین سرعت- چگالی در انواع تسهیلات عابرپیاده مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن‌ها نشان داد که جریان عابرپیاده منجر به ایجاد روابط مختلف بین سرعت- چگالی و تراکم جریان را در تسهیلات مختلف عابرپیاده خواهد شد. همچنین عابران‌پیاده با سرعت راه رفتن کمتر، تأثیر معنی‌داری بر میانگین سرعت جریان عابرپیاده دارد. شریفی و همکاران[17] در مطالعه‌ای به ارائه یک مدل چگالی- سرعت برای جریان عابرپیاده در یک مسیر دوطرفه پرداختند و همچنین مدل مورد مطالعه را برای محیط‌های مختلف پیاده با زاویه‌های مختلف تقاطعی (۹۰ درجه، ۱۳۵ درجه و ۱۸۰ درجه) مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنان نشان داد که اثرات متقابل با افزایش زاویه تسهیلات پیاده کاهش می‌یابد. علاوه بر این، ظرفیت تسهیلات پیاده با افزایش زاویه جریان پیاده، کاهش می‌یابد. لی و همکاران[18] آزمایش‌های مختلفی را برای مقایسه ویژگی‌های حرکتی عابران از راهروهایی با عرض‌های مختلف عبور می‌کنند، انجام دادند. نتایج آنان نشان داد که ارتباط بین جریان و عرض راهروها با جدا کردن این مسیرها که متأثر از ابعاد بدن و انگیزه‌ها و هدف سفر عابران‌پیاده می‌باشد، منجر به زاویه انحراف عابرپیاده و انحراف در نمودار گاوس خواهد شد و دامنه حرکتی عابران‌پیاده، با افزایش سرعت فردی محدود می‌شود.

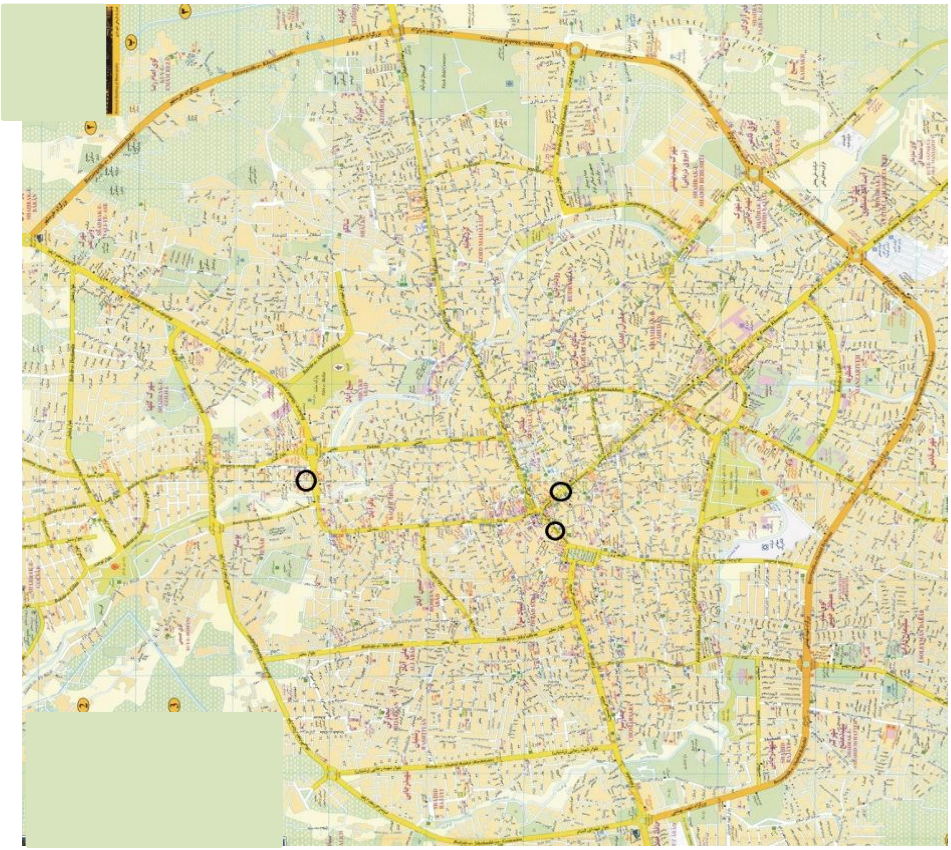
با توجه به برر سی‌های مطالعات پی شین م شخص شد که این مطالعه‌ها در ۳ د سته‌بندی کلان‌نگر، میان‌نگر و خردنگر قرار می‌گیرند و هر کدام از پژوهشگران در دنیا، جریان عابران‌پیاده را تحت تأثیر پارامترهای مشـــخص مورد ارزیابی و بررســـی قرار داده‌اند. از همین‌رو در این مقاله به بررسی و مدل‌سازی کلان‌نگر رفتار عابران‌پیاده پرداخته می‌شود.

روش‌شناسی و روش مدل‌سازی

داده‌های مورد نیاز در پژوهش حاضر در شهر رشت جمع‌آوری شده است که یکی از شهرهای ایران و مرکز استان گیلان است و بزرگ‌ترین و پرجمعیت‌ترین شهر شمال ایران نیز محسوب می‌شود. برای جمع‌آوری اطلاعات عابران‌پیاده جهت مدل‌سازی تردد آنان، مهم‌ترین و شلوغ‌ترین تسهیلات پیاده‌روی شهر انتخاب و اقدام به فیلم‌برداری از تسهیلات موردنظر شد. این تسهیلات از بین بیش از ۵۰ مکان در سطح شهر رشت برگزیده شدند. پیاده‌روها و پیاده‌راه مطالعه حاضر مطابق با شکل (۱) در نقاط مختلف شهر رشت جمع‌آوری شده است که شامل پیاده‌روهای خیابان‌های امام خمینی (ره) و خیابان سعدی می‌باشد. همچنین پیاده راه مورد بررسی نیز واقع در خیابان اعلم‌الهدی شهر رشت می‌باشد. هدف از انتخاب پیاده‌روهای مطالعه حاضر، انتخاب مکان‌هایی با تردد بسیار عابرین‌پیاده و با هدف‌های سفر مختلف از جمله درمانی، آموزشی و خرید بود. همچنین از بین دو پیاده‌راه شهر رشت (شهرداری و اعلم‌الهدی) پیاده‌راه اعلم‌الهدی با توجه به چگالی و نرخ جریان بالاتر

عابرین‌پیاده عبوری انتخاب شد که در نهایت از محل‌های خاص نظیر ساختمان‌های بلند مجاور، پل عابرپیاده و با استفاده از جرثقیل بالابر اقدام به فیلم‌برداری شد[19]. سپس با مشخص کردن مقطعی ثابت به واحد طول (متر) در تصاویر فیلم‌برداری شده و همچنین مدت زمان طی شده هر عابر عبوری در این مقطع مشخص، سرعت راه رفتن هر یک از عابران‌پیاده استخراج گردید. به منظور انجام عملیات آماربرداری، با توجه به اوج عابر عبوری در محل‌های انتخاب شده، ساعت اوج عصر ۱۷ تا ۲۰ در اوایل فصل بهار انتخاب شد. زمان انتخاب شده برای آماربرداری با توجه به روشن بودن هوا، اشباع بودن جریان تردد عابران‌پیاده و زمان اوج تردد عابران‌پیاده بوده است. در نهایت اطلاعات ۱۰۲۱۰ عابرپیاده جهت استفاده به عنوان داده‌های مدل‌سازی آماده گردید.

یکی از روش‌های استفاده شده برای مدل‌سازی در این مطالعه، مدل رگرسیون است. در این مدل‌ها، هدف این است که یک رابطه ریاضی بین یک یا چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته به منظور پیش‌بینی مقدار متغیر وابسته با استفاده از مقدار یا مقادیر متغیرهای مستقل بدست آورده شود. بنابراین در رگرسیون، علاوه بر اینکه همبستگی بین چند متغیر مستقل و یک متغیر وابسته بررسی می‌گردد، نوع و شکل رابطه ریاضی نیز تعیین می‌گردد. رگرسیون پرکاربردترین روش آماری است که برای سنجش و ارائه مدل ارتباط دو متغیر به کار می‌رود. رگرسیون خطی ضرایب معادله خطی که نزدیک‌ترین هماهنگی با داده‌های مشاهده شده را داراست برآورد می‌کند. با استفاده از معادله خط برگشت، امکان پیشگویی مقادیر بعدی نیز امکان‌پذیر می‌شود. در معادله رگرسیون یک متغیر مستقل و یک متغیر وابسته وجود دارد که در معادله رگرسیون چندمتغیره تعداد متغیرهای مستقل بیش از یکی است. در این پژوهش با ترسیم نمودار پراکنش و برازش منحنی، در نرم‌افزارهای اکسل و SPSS و با استفاده روش رگرسیون، معادلات مورد نیاز استخراج شدند[20,21].



شکل ۱ محل‌های مورد مطالعه و برداشت اطلاعات

از طرف دیگر، الگوریتم‌های فراابتکاری، یکی از انواع الگوریتم‌های بهینه‌سازی تقریبی هستند که دارای راهکارهای برون‌رفت از نقاط بهینه محلی هستند و قابلیت کاربرد در طیف گسترده‌ای از مسائل را دارند. روش الگوریتم ژنتیک تکنیک گسترش‌یافته الگوریتم تکاملی بدست آمده از تئوری تکاملی داروین می‌باشد. بطورکلی این روش را می‌توان به عنوان روش ابزاری فراگیر معرفی نمود که به جستجوی فضای مساله به جای فضای داده‌ها می‌پردازد. به عبارتی برنامه‌نویسی ژنتیک نوعی روش بهینه‌سازی و ارائه رگرسیون می‌باشد که با استفاده از اصل انتخاب طبیعی داروین، راه‌حل‌هایی جهت حل مسئله تولید می‌کند. برنامه‌نویسی ژنتیک به صورت تصادفی تعداد بسیار زیادی برنامه کامپیوتری با اندازه و شکل‌های مختلف می‌سازد و این برنامه‌ها به رقابت با هم پرداخته و با کمک عملگرهای ژنتیکی مرحله به مرحله اصلاح شده و گسترش می‌یابند. جمعیت اولیه از درخت‌ها، با استفاده از مجموعه توابع و مجموعه ترمینال‌ها، در ابتدای فرآیند پردازش ساخته می‌شود. به منظور جلوگیری از طولانی شدن زمان حل مساله و نیز طول روابط نهایی، محدودیت‌های اندازه و عمق به درخت‌ها اعمال می‌شود[22-26].

بررسی و تحلیل داده‌ها

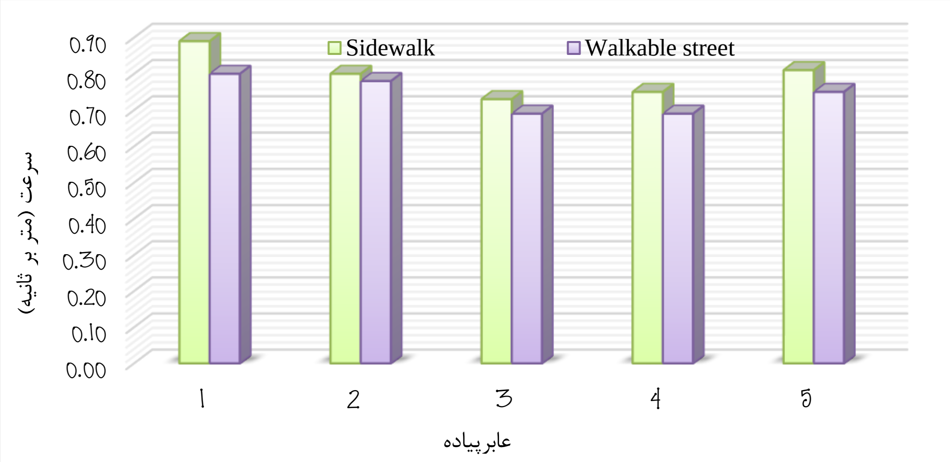
بررسی سرعت تردد عابران‌پیاده

سرعت عبور از عرض و سرعت راه رفتن میانگین و صدک پانزدهم عابران‌پیاده عبوری در تمامی تسهیلات پرتردد پیاده در زمان اوج تردد، به تفکیک جنسیت، پوشش لباس بانوان عبوری، تفکیک تسهیلات، حرکت‌های انفرادی و گروهی و شرایط جوی عادی و بارش باران مطابق جدول (۱) برداشت گردید.

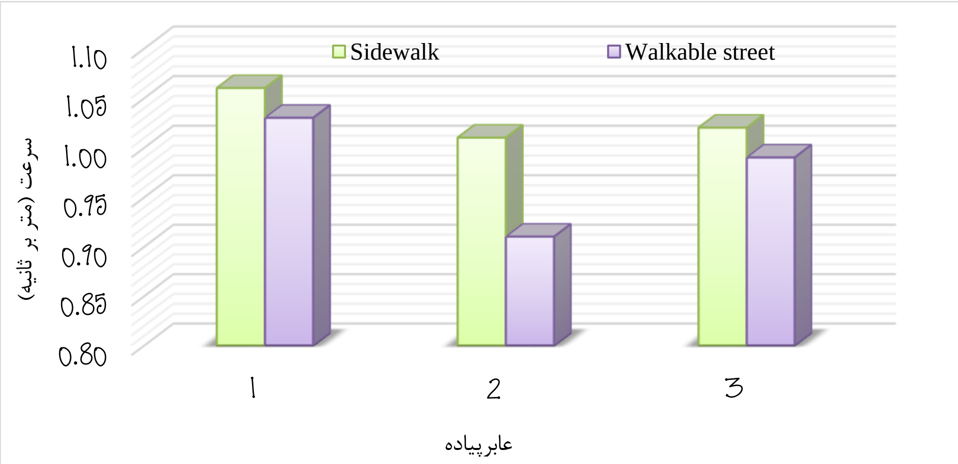
جدول ۱ سرعت عبور از عرض و راه رفتن عابران‌پیاده در شرایط و مکان‌های مختلف

نوع تسهیلات	شرایط هوایی	تقسیم‌بندی	تعداد افراد	میانگین سرعت (متر بر ثانیه)	انحراف معیار	V_{15} (متر بر ثانیه)
پیاده‌رو	عادی	آقایان	۳۰۸۱	۱/۱۰	۰/۱۶۹	۰/۸۹
		بانوان با پوشش معمولی	۲۷۷۵	۱/۰۱	۰/۱۱۲	۰/۸۰
		بانوان با پوشش چادر	۷۶۵	۰/۹٤	۰/۱۸۹	۰/۷۳
		حرکت‌های گروهی	۵۳٤	۰/۹۷	۰/۱۲۳	۰/۷۵
		کلیه عابران	٦٦٢١	۱/۰۳	۰/۱۳۹	۰/۸۱
	بارش باران	آقایان	۳۵٤	۱/۲۱	۰/۱۸۱	۱/۰٦
		بانوان	۱۷۱	۱/۱۲	۰/۱۳۹	۱/۰۱
		کلیه عابران	۵۲۵	۱/۱۵	۰/۱٤۱	۱/۰۲
پیاده‌راه	عادی	آقایان	۱۱۱٤	۱/۰٤	۰/۱۵۵	۰/۸۰
		بانوان با پوشش معمولی	۱۰۳٦	۰/۹٤	۰/۱۹۲	۰/۷۸
		بانوان با پوشش چادر	۲۰۲	۰/۸۹	۰/۱۳۷	۰/٦۹
		حرکت‌های گروهی	٦۹۹	۰/۸۸	۰/۱٤۵	۰/٦۹
		کلیه عابران	۲۳۵۲	۰/۹۷	۰/۱۷۳	۰/۷۵
	بارش باران	آقایان	۳٤۲	۱/۱۵	۰/۱۹۳	۱/۰۳
		بانوان	۳۷۰	۱/۰۹	۰/۱۱۹	۰/۹۱
		کلیه عابران	۷۱۲	۱/۱۲	۰/۱۷٤	۰/۹۹

بر اساس نتایج بدست آمده و همان‌طور که در شکل‌های (۲) و (۳) نشان داده شده است، بیشترین مقادیر سرعت صدک پانزدهم در هر دو شرایط جوی عادی و بارانی در همه تسهیلات پیاده مربوط به آقایان است و این در حالی است که بانوان و به خصوص بانوان چادری در تمام شرایط با سرعت پایین‌تری راه می‌روند و کمترین مقادیر سرعت صدک پانزدهم مربوط به آنان است. همچنین کمترین سرعت در بین همه تسهیلات پیاده در هر دو شرایط جوی عادی و بارش باران مربوط به پیاده راه می‌باشد و عابران با آرامش بیشتر و با هدف تفریح و خرید از این معابر حرکت می‌کنند. با بررسی مقادیر سرعت شکل (۲) می‌توان درک کرد که در زمان بارش باران عابران میل به افزایش سرعت دارند بطوریکه سرعت آنان در تسهیلات پیاده‌رو بسیار نزدیک به مطالعات مشابه در تقاطع چراغ‌دار می‌باشد[27-29].



شکل ۲ مقایسه سرعت گروه‌های مختلف عابرپیاده در شرایط جوی عادی



شکل ۳ مقایسه سرعت گروه‌های مختلف عابرپیاده در شرایط جوی بارانی

مدل‌سازی جریان عابران‌پیاده

هدف اصلی این پژوهش مدل‌سازی روابط بین پارامترهای مختلف جریان عابران‌پیاده از قبیل سرعت، چگالی و نرخ جریان در تسهیلات پیاده مورد مطالعه می‌باشد. برای تعیین این روابط، ابتدا تعداد افراد عبوری از طول مشخص شده در پیاده‌روها و پیاده‌راه‌ها هر دقیقه از روی تصاویر ضبط شده بدست آمد، به این ترتیب نرخ جریان (v) در هر نوبت آماربرداری در هر کدام از تسهیلات عابرپیاده مشخص شد. سپس با استفاده از کرنومتر، زمان راه‌رفتن افراد از این تسهیلات برای تمامی عابران تعیین گردید که از تقسیم مسافت طی شده به زمان راه‌رفتن، سرعت حرکت افراد (S) بدست آمد. در نهایت با استفاده از رابطه‌ی ($v = S \times D$) مقادیر چگالی (D) برای هر دقیقه محاسبه شد. جهت مدل‌سازی روابط بدست آمده از سه روش رگرسیون خطی و غیرخطی و روش الگوریتم ژنتیک استفاده شد.

مدل‌سازی رگرسیون

مدل‌های بدست آمده بین نرخ جریان- چگالی، سرعت- نرخ جریان و سرعت- چگالی برای شرایط عبور عابران‌پیاده از پیاده‌رو مطابق روابط (۱) تا (٦) ارائه شده است. همچنین نتایج مقادیر R^2 مدل‌های بدست آمده مطابق با جدول (۲) ارائه شده است.

در پیاده‌روها:

$$v = -۲۳/۴۲D^{۲} + ۲۴/۷e^{D} - ۰/۹۱ \qquad (۱)$$

$$S = -۰/۰۱v^{۲} - ۰/۰۳۱v + ۶۳/۱۴ \qquad (۲)$$

$$S = -۰/۸۱D^{۲} - ۲/۵۹D + ۵۲/۱۱ \qquad (۳)$$

در پیاده‌راه‌ها:

$$v = -۱۲/۴۲D^{۲} + ۶۰/۱۹D - ۰/۴۲ \qquad (٤)$$

$$S = -۰/۰۰۵v^{۲} - ۰/۰۲۴v + ۱۳/۶۳ \qquad (۵)$$

$$S = -۱/۷۴D^{۲} - ۳/۲۴D + ۴۲/۵۲ \qquad (٦)$$

که در این رابطه‌ها، (D) چگالی، (v) نرخ جریان و (S) سرعت جریان عابرپیاده می‌باشد.

جدول ۲ نتایج مدل‌های بدست آمده چگالی با استفاده از روش رگرسیون خطی و غیرخطی

شماره مدلها	مدل	نوع مدل	R^2	Sig.
۱	پیاده‌رو	نرخ جریان- چگالی	۰/۹۰۰۱	۰/۰۰۰
۲		سرعت- نرخ جریان	۰/۸۵۷۲	۰/۰۰۱
۳		سرعت- چگالی	۰/۹۱۰۳	۰/۱٤۱
٤	پیاده‌راه	نرخ جریان- چگالی	۰/۸۳۱٤	۰/۰۲۱
۵		سرعت- نرخ جریان	۰/۷۹۰۱	۰/۰۰۰
٦		سرعت- چگالی	۰/۹۰۸۲	۰/۰۰۱

مدل‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک

در مدل‌سازی با روش الگوریتم ژنتیک، با استفاده از متغیرهای مستقل نرخ جریان و چگالی، مدل پیش‌بینی چگالی عابران‌پیاده با استفاده از به کار بردن کدهای مرتبط با روش الگوریتم ژنتیک در نرم‌افزار متلب بدست آمد. نتایج روابط جریان عابران‌پیاده برای تسهیلات پیاده‌رو و پیاده‌راه روابط (۷) و (۸) می‌باشد.

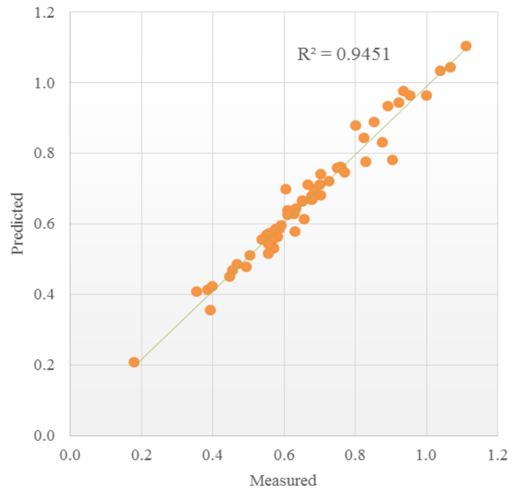
در پیاده‌روها:

$$\begin{aligned} D = {} & 0.0248v - 0.1837S + 0.4917\sin(\cos(S)) \\ & - 0.6141\sin(\sin(\cos(S)) - 0.2846\cos(S) \\ & - 0.0011(S-\cos(v))(v + \cos(S)) + 2.284 \end{aligned} \qquad (۷)$$

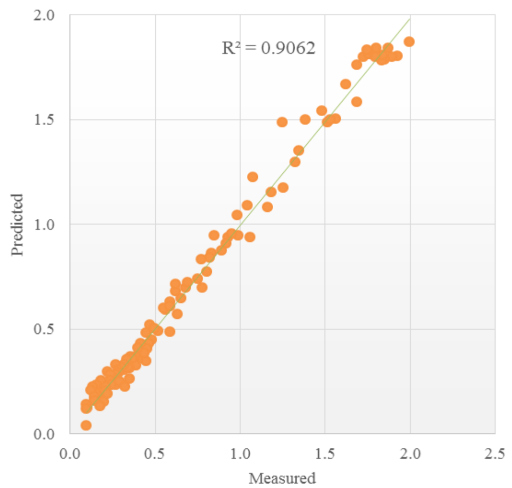
در پیاده‌راه‌ها:

$$\begin{aligned} D = {} & 0.0125v - 0.0816S - 0.022\tanh(3.021\cos(S)) \\ & - 0.0229\cos(v-S) + 0.0238e^{\cos(s)} \\ & - 0.0209\sin(S^2 \times \cos(S)) + 1.102 \end{aligned} \qquad (۸)$$

بر اساس مدل‌های ارائه شده، نتایج مقادیر پیش‌بینی شده و واقعی برای مدل‌های چگالی بدست آمده برای تسهیلات مختلف پیاده‌رو و پیاده‌راه در شکل (٤) نشان داده شده است که نتایج دقت پیش‌بینی این مدل‌ها به ترتیب برابر با ۰/۹٤۵۱ و ۰/۹۰٦۲ می‌باشند.



(الف)



(ب)

شکل ٤ مقایسه سرعت گروه‌های مختلف عابرپیاده در شرایط جوی بارانی نمودارهای مقادیر واقعی و پیش‌بینی شده با استفاده از روش الگوریتم ژنتیک برای (الف) پیاده‌رو، (ب) پیاده‌راه

مقایسه نتایج

روش‌های مختلف مدل‌سازی جریان عابرین‌پیاده در پیاده‌رو و پیاده‌راه شهر رشت مطابق با جدول (۳) نشان داده شده است. همانطور که از این نتایج مشخص است دقت روش ژنتیک در مقایسه با سایر روش رگرسیونی بالاتر می‌باشد. از همین رو می‌توان بیان کرد الگوریتم‌های متاهیوریستیک دارای دقت بالاترین در مدل‌سازی رفتار عابرین‌پیاده می‌باشند.

جدول ۳ مقایسه نتایج مدل‌سازی مطالعه حاضر

نوع تسهیلات	روش مدل‌سازی	نتایج R^2
پیاده‌رو	رگرسیونی	۰/۹۱۰۳
	ژنتیک	۰/۹٤٥۱
پیاده‌راه	رگرسیونی	۰/۹۰۸۲
	ژنتیک	۰/۹۰٦۲

نتیجه‌گیری

با بررسی مشخصات رفتاری عابران‌پیاده در تسهیلات پیاده، اهم نتایج زیر حاصل شد:

۱. بیشترین مقادیر سرعت صدک پانزدهم در هر دو شرایط جوی عادی و بارانی در همه تسهیلات پیاده مربوط به آقایان است و این در حالی است که بانوان و بخصوص بانوان چادری در تمام شرایط با سرعت پایین‌تری راه می‌روند و کمترین مقادیر سرعت صدک پانزدهم مربوط به آنان است.

۲. سرعت عابران در پیاده‌روها و در هنگام عبور از عرض گذرگاه‌ها با یکدیگر برابر می‌باشد و دارای مقادیر بسیار پایینی نسبت به عبور از تقاطعات می‌باشند. همچنین کمترین سرعت در بین همه تسهیلات پیاده در هر دو شرایط جوی عادی و بارش باران مربوط به پیاده‌راه می‌باشد؛ شاید دلیل این موضوع، طراحی اختصاصی پیاده‌راه‌ها با اولویت عابرپیاده و همچنین قرار گرفتن پیاده‌راه‌ها در مناطق توریستی، تفریحی یا با هدف خاص خرید باشد.

۳. با سطح اطمینان ۹۵ درصد در گروه‌های سنی میان‌سال و مسن با گروه وزنی معمولی اختلاف سرعت بانوان با پوشش چادر و بانوان با پوشش معمولی به لحاظ آماری معنادار است و پوشش چادر بر سرعت افراد اثرگذار بوده، بطوریکه بانوان با پوشش چادر در مقایسه با بانوان با پوشش معمولی، مردان و حرکت‌های گروهی دارای کمترین مقادیر سرعت می‌باشند. بنابراین از آنجاکه پیش‌بینی اینکه چه افرادی با چه نوع پوششی در یک دوره‌ی زمانی از منطقه مورد نظر عبور می‌نمایند، امکان‌پذیر نیست؛ پس بهتر است نوع پوشش برای طراحی تسهیلات پیاده‌روی بانوان در نظر گرفته شود.

٤. در بین مدل‌های مختلف بدست آمده با استفاده از روش رگرسیون خطی و غیرخطی، برای تمامی تسهیلات پیاده، مدل نرخ جریان- چگالی دارای بالاترین دقت پیش‌بینی می‌باشد.

٥. د قت مدل ها برای تسهیلات مختلف، پیاده‌رو، پیاده‌راه، تقاطعات بدون چراغ و چراغ‌دار با استفاده از روش الگوریتم

ژنتیک دارای دقت پیش‌بینی به ترتیب برابراست با ۰/۹۴۵۱، ۰/۹۰۶۲، ۰/۹۶۸۲ و ۰/۹۹۳۸ می‌باشند.

۶. الگوریتم فراابتکاری ژنتیک در همه نوع تسهیلات پیاده دارای دقت بیشتری در پیش‌بینی جریان عابران‌پیاده نسبت به مدل‌سازی رگرسیونی می‌باشد؛ بنابراین می‌توان این روش را به عنوان یکی از روش‌های فراابتکاری که دارای دقت بیشتری می‌باشد به عنوان یکی از بهترین روش‌های مدل‌سازی معرفی کرد.

مراجع

1. Bargegol, I., Amlashi, A. T., and Najafi Moghaddam Gilani, V., "Evaluation average discharge headway at near-side legs of signalized intersections", *Journal UMP Social Sciences and Technology Management*, Vol. 3, pp 670-675, (2015).
2. Trolly, R.S., "Winning back public space", *Sustainable Transport: Planning for Walking and Cycling in Urban Environments. Woodhead, Cambridge*, pp 713-736, (2003).
3. Bargegol, I. and Najafi Moghaddam Gilani, V., "Estimating delay of vehicles in nearside legs of the signalized intersections under expectation method in under-saturation conditions for isolated intersection", *Trends Journal of Sciences Research*, Vol. 2(4), pp 121-125, (2015).
4. Papadimitriou, E., Theofilatos, A. and Yannis, G., "Patterns of pedestrian attitudes, perceptions and behaviour in Europe", *Safety Science*, Vol. 53, pp 114–122, (2013).
5. Helbing, D., Johansson, A. and Al-Abideen, H., "Dynamics of crowd disasters: An empirical study", *Physical Review*, Vol.75, pp. 046109, (2007).
6. Liu, W., Zhou, H. and He, Q., "Modeling Pedestrians Flow on Stairways in Shanghai Metro Transfer Station", *International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation*, Vol. 2, pp. 263-267, (2008).
7. Hongfei, J., Lili, Y. and Ming, T., "Pedestrian Flow Characteristics Analysis and Model Parameter Calibration in Comprehensive Transport Terminal", *Journal of Transportation Systems Engineering Aand Information Technology*, Vol. 9(5), pp 117-123, (2009).
8. Chen, X., Ye, J., Jian, N., "Relationships and Characteristics of Pedestrian Traffic Flow on Confined Passageways", TRB, National Research Council, Washington, D.C., (2010).
9. Plaue, M., Chen, M., Bà rwolff, G. and Schwand, H., "Trajectory extraction and density analysis of intersecting pedestrian flows from video recordings", Technische Universität Berlin, (2011).
10. Tang, Sh., Kwal, D. and Kitahara, T., "Study on Pedestrian's Speed and Density under the Mid-low Density: Comparison of Pedestrian Behavior on the Station Square between Chiba, Japan and Shanghai", China 26th annual congress, China, (2012).
11. Rastogi, R., Ilango, T. and Chandra, S., "Pedestrian Flow Characteristics for Different Pedestrian Facilities and Situations", *European Transport*, Vol. 53, pp. 1-5, (2013).
12. Shafabakhsh, Gh., Mohammadi, M. and Mirzanamadi, R., "Analysis of Pedestrians' Walking Speed in Iran's Sidewalks", *Journal of Basic and Applied Scientific Research*, Vol. 3(3), pp 172-182, (2013).
13. Chandra, S., Rastogi, R., Vivek, R.D. and Ilango, T., "Pedestrian behaviour under varied traffic and spatial conditions", *European Transport*, Vol. 56, pp. 45-55, (2014).
14. Das, P., Parida, M. and Katiyar, V.K., "Macroscopic Pedestrian Flow Modelling Using Ssimulation

Technique", *International Journal for Traffic & Transport Engineering,* Vol. 8(2), pp. 166-176, (2018).

15. Golakiya, H.D., Patkar, M. and Dhamaniya, A., "Impact of midblock pedestrian crossing on speed characteristics and capacity of urban arterials", *Arabian Journal for Science and Engineering,* Vol. 10, pp 8675-8689. (2019).
16. Zhou, X., Hu, J., Ji, X. and Xiao, X., "Cellular automaton simulation of pedestrian flow considering vision and multi-velocity", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* Vol. 514, pp 982-992, (2019).
17. Sharifi, M.S., Song, Z., Esfahani, H.N. amd Christensen, K., "Exploring heterogeneous pedestrian stream characteristics at walking facilities with different angle intersections", *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* Vol. 540, pp 123112, (2020).
18. Li, H., Zhang, J., Song, W. and Yuen, K.K.R., "A comparative study on the bottleneck pedestrian flow under different movement motivations", *Fire Safety Journal,* Vol. 120, pp. 103014, (2020).
19. Bargegol, I., Gilani, V. N. M., & Farghedayn, S., "Analysis of the effect of vehicles conflict on pedestrian's crossing speed in signalized and un-signalized intersection", *Advances in Environmental Biology,* Vol. 245, pp. 502-510, (2014).
20. Behbahani, H., Najafi Moghaddam Gilani, V., Amini, A., Kamboozia, N. and Hosseinian, S. M., "Fuzzy-neural analysis of pedestrian flow crossing urban intersections", *18th International Conference on Traffic & Transportation Engineering,* (2020).
21. Ahmed, A., Jalal, A. and Kim, K., "A novel statistical method for scene classification based on multi-object categorization and logistic regression", *Sensors,* Vol. 20(14) pp 38-71, (2020).
22. Mullainathan, S., and Spiess, J., "Machine learning: an applied econometric approach", *Journal of Economic Perspectives,* Vol. 31(2), pp 87-106, (2017).
23. Chen, X., "Traffic flow prediction at varied time scales via ensemble empirical mode decomposition and artificial neural network", *Sustainability,* Vol. 12(9): pp. 36-78, (2020).
24. Bargegol, I., Najafi Moghaddam Gilani, V., and Jamshidpour, F., "Modeling pedestrian flow at central business district", *Journal of UMP Social Sciences and Technology Management,* Vol. 3(3), pp. 250-265, (2015).
25. Bargegol, I., Najafi Moghaddam Gilani, V. and Jamshidpour, F., "Relationship between pedestrians' speed, density and flow rate of crossings through urban intersections (case study: Rasht metropolis)", *International Journal of Engineering,* Vol. 30(12), pp 1814-1821 (2017).
26. Liu, W., Wang, Z., Liu, X., Zeng. N., Liu, Y., Alsaadi, F., "A survey of deep neural network architectures and their applications", Neurocomputing, Vol. 234, pp 11-26, (2017).
27. Bargegol, I., and Najafi Moghaddam Gilani, V., "The effect of rainy weather on walking speed of pedestrians on sidewalks", *Buletin Teknol Tanaman,* Vol. 12, pp 217-22, (2015).
28. Bargegol, I., Taghizadeh, N., and Najafi Moghaddam Gilani, V., "Evaluation of pedestrians speed with investigation of un-marked crossing", *Computational Science,* Vol. 12, pp 150-5, (2015).
29. Behbahani, H., Najafi Moghaddam Gilani, V., Samet, M. J., and Salehfard, R., "Analysis of crossing speed of the pedestrians in marked and unmarked crosswalks in the signalized and un-signalized intersections (case study: Rasht city)", *Conference Series: Materials Science and Engineering,* Vol. 245(4), pp 042014, (2017).